Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 4, Winter. 2022, p. 359-375

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۳۷۵-۳۵۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی محرک‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های رشد، عملکرد و اجزای عملکرد ارقام سیب‌زمینی

محمدرضا رفیع[۱*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۲

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر محرک‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های رشد و خصوصیات ارقام سیب‌زمینی در دو مطالعه انجام شد. مطالعه اول به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتور اول شامل دو رقم سیب‌زمینی: اوتاوا و سانته بود. فاکتور دوم شامل هشت تیمار: اسید هیومیک، اسید آمینه آزاد، اسید آمینه-عنصر غذایی (Zn، K، Ca و K-Ca)، مصرف توأم تیمارها (به‌جز اسید آمینه) و شاهد بود. در مطالعه دوم، شاخص‌های رشد با استفاده از آزمایش اسپلیت‌پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار ارزیابی شدند. فاکتور اصلی پنج دوره نمونه‌برداری و دو رقم و هشت محرک رشد به‌صورت فاکتوریل، به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. در رقم سانته بیشترین عملکرد غده مربوط به تیمار مصرف توأم بود و نسبت به بقیه تیمارها برتری معنی‌داری داشت. در رقم اوتاوا نیز حداکثر عملکرد مربوط به تیمار مصرف توأم بود ولی نسبت به اسید آمینه‌های پتاسیم یا کلسیم‌دار و اسید هیومیک برتری معنی‌داری نداشت. نتایج آنالیز رشد مشخص نمود در بیشتر دوره‌های نمونه‌برداری سرعت رشد غده و محصول تیمار مصرف توأم از سایر تیمارها بیشتر بود. لذا حداکثر عملکرد غده به این تیمار اختصاص یافت. در دوره‌های مختلف نمونه‌برداری سرعت رشد غده و محصول در رقم اوتاوا به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم سانته بود. بر اساس نتایج این پژوهش، در رقم سانته کاربرد توأم محرک‌های رشد و در رقم اوتاوا کاربرد اسید آمینه‌های پتاسیم یا کلسیم‌دار یا اسید هیومیک توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنالیز رشد، اسید آمینه، اسید هیومیک، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) به‌دلیل داشتن هیدروکربن‌های قابل هضم، پروتئین‌های حاوی لیزین که یک اسید آمینه ضروری مهم بوده که غالباً در محصولاتی مانند غلات و سبزیجات وجود ندارد ارزش غذایی فراوانی دارد (Wagley *et al.*, 2014). اهمیت غذایی سیب‌زمینی تنها به دلیل انرژی‌زایی آن نبوده بلکه این محصول حاوی مقادیر قابل‌توجهی ویتامین‌های C، B_6، فیبر و مواد معدنی همانند آهن، منیزیم، روی و مس نیز می‌باشد (Kolassa, 1993). تولید سیب‌زمینی در کشت زمستانه در مناطق نیمه‌گرمسیری جنوب کشور از جمله جنوب خوزستان همواره با چالش گرمای از اواخر فروردین ماه همراه است. عملکرد سیب‌زمینی در خوزستان نسبت به مناطق معتدله کشور به میزان قابل‌توجهی پایین‌تر است (Darabi, 2013). یکی از علل پایین بودن عملکرد سیب‌زمینی طولانی بودن مدت زمان از کاشت تا سبز در مقایسه با مناطق معتدله کشور (۴۰ روز) و دلیل دیگر مواجه شدن گیاه با دمای بالا از اواخر فروردین ماه می‌باشد (Darabi and Eftekhari, 2014). به‌نظر می‌رسد در شرایط تنش گرمایی، محرک‌های رشد می‌توانند به‌عنوان یک استراتژی برای کاهش اثرات منفی دمای بالا به‌کار گرفته شوند. محرک‌های رشد در فیزیولوژی گیاه از راه‌های مختلف از جمله بهبود رشد محصول، عملکرد، کیفیت، جذب عناصر غذایی و تحمل به تنش‌های غیرزنده عمل می‌کنند (Yakhin *et al.*, 2017). همچنین محرک‌های رشد بر روی متابولیسم گیاه اثر می‌گذارند و می‌توانند باعث اصلاح ساختار ریشه و افزایش توسعه ریشه شوند (Petrozza *et al.*, 2013).

کاربرد مواد تحریک‌کننده رشد گیاهی از جمله اسیدهیومیک، اسید آمینه و کمپلکس‌های اسید آمینه- عنصر غذایی در مراحل حساس رشد سیب‌زمینی می‌توانند با افزایش سرعت رشد و نمو سیب‌زمینی باعث افزایش عملکرد این محصول گردند. مواد هیومیکی جزو فعال‌ترین مواد بیوشیمیایی شناخته شده در خاک هستند که باعث افزایش رشد ریشه، جذب مواد مغذی، سنتز کلروفیل، تحریک فعالیت‌های میکروبی سودمند و بهبود عملکرد گیاه می‌شود. اسید

۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: rafie1670@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2021.68096.1008

هیومیک اثرات مثبتی بر فعالیت آنزیمی، مواد مغذی گیاهی و محرک رشد دارد و به‌عنوان ماده غذایی گیاهی شناخته می‌شود (Anwar *et al.*, 2016). در آزمایشی مصرف اسید هیومیک در آب آبیاری سبب افزایش پارامترهای رشد، عملکرد و خواص فیزیکی و شیمیایی غده سیب‌زمینی شد (Rizk *et al.*, 2013). در آزمایشی دیگر کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش در رشد شاخ و برگ، تعداد غده و وزن غده و در نتیجه منجر به افزایش عملکرد گیاه سیب‌زمینی گردید (Sarhan, 2011). اسیدهای آمینه نیز به‌عنوان یک تحریک‌کننده رشد می‌توانند در گیاهان نقش‌های مختلف بازی می‌کنند. اسیدهای آمینه یک لیگاند طبیعی بوده که قادرند عناصر غذایی را از طریق گروه‌های کربوکسیل کلات کنند و قابلیت جذب عنصر را برای گیاه افزایش دهند (Ghasemi *et al.*, 2013). به دلیل وجود اسیدهای آمینه در ترکیب کود، کاربرد آمینوکلات‌های عنصر غذایی علاوه بر تأمین عنصر غذایی مصرفی، اثرهای مفید دیگری بر گیاه دارد. اسیدهای آمینه واحدهای سازنده پروتئین‌ها هستند و در انواع مسیرهای مهم در گیاه به‌کار می‌روند. آن‌ها در بسیاری از مولکول‌های زیستی، از جمله تشکیل قطعات کوآنزیم و یا به‌عنوان پیش‌سازهای بیوسنتز مولکول‌هایی مانند گلوتامین و اورنیتین، که پیش‌سازهای نوکلئوتید و PAs هستند، می‌باشند (Alcazar *et al.*, 2010). همچنین اسیدهای آمینه پیش ماده سنتز هورمون‌ها و مواد نیتروژنی با وزن مولکولی پایین است که قابلیت تشکیل کلات‌های محلول با عنصرغذایی و در نتیجه افزایش دسترسی این عنصر برای انسان را دارد (Lonnerdal, 2000). بررسی‌های مختلف نشان داده که محلول‌پاشی اسیدهای آمینه باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه در تعدادی از محصولات گیاهی از جمله پیاز (Rafie *et al.*, 2017) و سیب‌زمینی (El-Zohiri and Asfour, 2009) شده است. شاهین و همکاران (Shaheen *et al.*, 2019) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید آمینه باعث بهبود رشد رویشی و افزایش عملکرد غده سیب‌زمینی شد. هم‌چنین برخی از عناصر غذایی نیز برای مقابله با تنش گرما به‌کار می‌روند. در برخی مطالعات مشخص شده است که برگ‌پاشی عنصر کلسیم در کاهش خسارت گرما و در نتیجه افزایش عملکرد سیب‌زمینی مؤثر است (Aien and Jalali, 2018). کاربرد پتاسیم نیز موجب سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی می‌شود و باعث بهبود رشد گیاه و افزایش عملکرد سیب‌زمینی می‌شود (Malakuti *et al.*, 2016; Omran *et al.*, 1991). عنصر روی نیز با تأثیر بر ظرفیت جذب و انتقال آب (Disante *et al.*, 2010) سبب کاهش اثرات نامطلوب تنش گرمایی در گیاه می‌شود. هم‌چنین عنصر روی با تأثیر بر افزایش فتوسنتز گیاه باعث بهبود عملکرد سیب‌زمینی می‌شود (Ali *et al.*, 2008).

به‌منظور درک بیشتر کاربرد محرک‌های رشد گیاهی روی سیب‌زمینی در این پژوهش، نیاز به بررسی کمی مولفه‌های رشد جامعه گیاهی می‌باشد. مجموع روش‌هایی که به‌منظور بررسی کمی مولفه‌های رشد مورد استفاده قرار می‌گیرد به آنالیزهای رشد معروف است. در واقع هدف از تجزیه کمی رشد، شناخت عواملی است که بر رشد و عملکرد گیاه اثر می‌گذارند. تجزیه و تحلیل رشد گیاه با اندازه‌گیری عامل وزن خشک در زمان‌های پی در پی صورت می‌گیرد. سایر شاخص‌های کمی رشد با استفاده از معادلات مربوط تعیین می‌شوند. رایج‌ترین راهکار تجزیه و تحلیل کلاسیکی رشد، اندازه‌گیری دو متغیر مذکور بر تعداد نسبتاً زیادی از گیاهان در فواصل زمانی نسبتاً طولانی (۲-۱ هفته) می‌باشد. راهکار دیگر تجزیه و تحلیل رشد شامل اندازه‌گیری وزن خشک و سطح برگ با فواصل زمانی کوتاه‌تر (۳-۲ روز) روی تعداد کمتری از گیاهان است. از هر دو راهکار می‌توان میانگین تغییرات کمی رشد طی هر فاصله زمانی معین را به‌دست آورد (Hunt, 1982). مهم‌ترین شاخص‌های رشد که در گیاهان کاربرد فراوان دارند شامل سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول می‌باشند (Gardner *et al.*, 1985).

سیب‌زمینی تولیدشده در مناطق معتدله کشور در پاییز و اوایل زمستان به مصرف رسیده و بعد از آن خلاء این محصول در بازار به‌وجود می‌آید. با کشت زمستانه سیب‌زمینی در مناطق گرم کشور می‌توان به پر نمودن این خلاء اقدام نمود. یکی از مناطق نیمه‌گرمسیری مناسب برای کشت سیب‌زمینی استان خوزستان می‌باشد. زراعت این محصول در سال‌های اخیر مورد استقبال کشاورزان منطقه قرار گرفته به گونه‌ای که سطح زیرکشت آن از ۳۴۷ هکتار در سال زراعی ۶۴-۱۳۶۳ هم‌اکنون به ۴۴۹۱ هکتار رسیده است (Ahmedi *et al.*, 2019). هم‌زمان با افزایش سطح زیر کشت در چهار دهه اخیر، در راستای پاسخگویی به نیاز کشاورزان تحقیقات فراوانی در ارتباط با به‌نژادی و به‌زراعی سیب‌زمینی در خوزستان انجام گرفته است. با عنایت به این‌که اطلاعات درباره کاربرد اسیدهیومیک و اسیدهای آمینه کمپلکس شده با عناصرغذایی بر روی سیب‌زمینی بیشتر مربوط به مناطق معتدل می‌باشد. لذا با توجه به کمبود اطلاعات کافی در ارتباط با نقش محرک‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های رشد و عملکرد این محصول در منطقه گرمسیر خوزستان، این تحقیق به‌منظور مطالعه اثر محرک‌های رشد گیاهی بر شاخص‌های رشد و عملکرد سیب‌زمینی ارقام سانته و اوتاوا اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت دو برداشت داده از یک آزمایش انجام شد. مطالعه و برداشت اول به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان با َ۳۶ :˚۳۰ عرض شمالی و َ۱۴ :˚۵۰ طول شرقی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتور اول شامل دو رقم سیب‌زمینی: اوتاوا و سانته

بود. فاکتور دوم شامل هشت تیمار: اسید هیومیک، اسید آمینه آزاد، اسید آمینه- عنصر غذایی (Zn، K، Ca و K-Ca)، مصرف توأم تیمارها (به‌جز اسید آمینه) و شاهد بود. در مطالعه و برداشت دوم، شاخص‌های رشد با استفاده از طرح اسپلیت‌پلات فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار ارزیابی شدند. فاکتور اصلی پنج دوره نمونه‌برداری و دو رقم و هشت محرک‌رشد به‌صورت فاکتوریل، به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. برخی از پارامترهای هواشناسی در دوره رشد و نمو محصول در جدول ۱ ارائه شده است. خصوصیات ارقام مورد بررسی عبارتند از:

سانته: نیمه زودرس تا میان‌رس، شکل غده بیضوی، رنگ پوست و گوشت غده به‌ترتیب زرد و زرد روشن.

اوتاوا: متوسط زودرس، شکل غده بیضوی کشیده، رنگ پوست و گوشت غده به‌ترتیب زرد و زرد روشن.

قبل از انجام آزمایش یک نمونه مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر از محل آزمایش تهیه و برخی از ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۲). میزان مصرف کود بر اساس نتایج تجزیه خاک و توصیه موسسه تحقیقات خاک و آب صورت گرفت و مقادیر آن ۴۶ کیلوگرم P_2O_5 و ۷۵ کیلوگرم K_2O در هکتار بود که در هنگام تهیه زمین به‌طور یکنواخت پخش و با خاک مخلوط شدند. کود نیتروژن نیز به میزان ۱۶۱ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، یک سوم، قبل از کاشت و مابقی به نسبت‌های مساوی در مراحل ابتدای حجیم شدن و ۲۰ روز بعد از شروع حجیم شدن غده استفاده گردید. کاشت غده‌های بذری جوانه‌دار در اوایل بهمن ماه صورت گرفت. در زمان کاشت، غده‌ها از نظر سن فیزیولوژیک در شرایط سنی چند جوانه‌ای، دارای ۵-۳ جوانه سبز رنگ ۱/۵-۱ سانتی‌متری بودند. بین کرت‌ها یک پشته نکاشت به منظور جلوگیری از انتقال نیتروژن از یک کرت به کرت مجاور منظور شد. اسید هیومیک پس از سبز شدن غده‌ها به همراه آب آبیاری به میزان ده کیلوگرم در هکتار، محلول‌پاشی تیمارهای اسید آمینه و اسید آمینه- روی در دو مرحله (غده‌زایی و ابتدای حجیم شدن غده)، محلول‌پاشی اسید آمینه-پتاسیم و اسید آمینه-کلسیم در دو مرحله (ابتدا و اواسط مرحله حجیم شدن غده‌ها) صورت گرفت. محلول‌پاشی اسید آمینه با و بدون عنصر غذایی با غلظت پنج در هزار بود. هر کرت آزمایشی به مساحت ۲۲/۵ متر مربع شامل شش خط کاشت به طول پنج متر و به فاصله ۷۵ سانتی‌متر بود. فاصله بوته‌ها روی خطوط ۲۵ سانتی‌متر منظور گردید. به‌منظور اندازه‌گیری شاخص‌های رشد از ۱۵ روز بعد از سبز شدن بوته تا هنگام برداشت به فاصله ۱۵ روز، پنج گیاه از هر کرت برداشت و وزن خشک اندام‌های هوایی و غده آن‌ها یادداشت گردید. وزن خشک اندام‌های برداشت شده با قرار دادن این اندام‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت تعیین شد. هنگامی که قطر قسمت متورم انتهای استولون دو برابر قطر استولون گردید به‌عنوان زمان تشکیل غده تلقی شد (Ewing and Struik, 1992). شاخص‌های رشد با استفاده از روابط (۱) تا (۴) محاسبه شدند:

$$HGR= (1/GA)\ (H_2-H_1)/(T_2-T_1) \quad (۱)$$

HGR سرعت رشد اندام هوایی برحسب گرم در روز در مترمربع، H_2 و H_1 وزن خشک اندام‌های هوایی در زمان T_2 و T_1 و GA سطح زمین پوشیده شده توسط گیاه

$$TUGR= (1/GA)\ (TU_2- TU_1)/(T_2-T_1) \quad (۲)$$

TUGR سرعت رشد غده برحسب گرم در روز در مترمربع، TU_2 و TU_1 وزن خشک غده در زمان T_2 و T_1

$$CGR= (1/GA)\ (W_2-W_1)/(T_2-T_1) \quad (۳)$$

CGR سرعت رشد محصول برحسب گرم در روز در مترمربع، W_2 و W_1 وزن خشک گیاه در زمان T_2 و T_1

$$RGR= (\ln W_2-\ln W_1)/(T_2-T_1) \quad (۴)$$

RGR سرعت رشد نسبی گیاه برحسب گرم در گرم در روز (Tekalign and Hammes, 2005). یک هفته قبل از برداشت اندام‌های هوایی قطع و غده‌ها در اواخر اردیبهشت ماه برداشت شدند. صفات اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار MSTATC تجزیه واریانس و میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- میانگین ماهیانه پارامترهای هواشناسی در دوره رشد و نمو سیب‌زمینی

Table 1- Monthly average of weather parameters during potato growth period

Meteorological factors	عوامل هواشناسی	دی Dec-Jan.	بهمن Jan-Feb.	اسفند Feb-March	فروردین March-April	اردیبهشت April-May
Mean temperature (°C)	میانگین دما	13.70	14.30	21.40	26.90	35.30
Mean maximum temperature (°C)	میانگین دمای حداکثر	19.70	21.20	28.90	35.30	44.30
Mean minimum temperature (°C)	میانگین دمای حداقل	7.60	7.30	14.00	18.40	25.70
Absolute maximum temperature (°C)	حداکثر مطلق دما	25.50	26.10	35.70	41.10	48.20
Absolute minimum temperature (°C)	حداقل مطلق دما	1.20	2.80	8.00	10.00	20.10
Precipitation (mm)	بارندگی	55.80	10.90	72.00	6.80	0.00

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of the soil in the experiment place

بافت Soil Texture	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	مواد خنثی‌شونده TNV (%)	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل TN ($g.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)
Silty Clay Loam	2.2	7.7	53.5	0.74	1.0	7.8	200	0.5

نتایج و بحث

روز تا سبز: اثر محرک‌های رشد گیاهی بر صفت تعداد روز از کاشت تا سبز شدن معنی‌دار نبود (جدول ۳). معنی‌دار نبودن اثر محرک‌های رشد گیاهی به این دلیل است که هیچ‌کدام از محرک‌های رشد مورد استفاده قبل از سبز شدن به‌کار برده نشده‌اند. در این پژوهش فاصله زمانی بین کاشت تا سبز شدن غده‌ها در مقایسه با مناطق معتدل کشور (Parvizi *et al.*, 2011) به دلیل پایین بودن دما در اوایل دوره رشد و نمو طولانی بود (جدول ۱)، به‌طوری که در این دوره زمانی متوسط دمای روزانه، اختلاف قابل‌توجهی با صفر فیزیولوژی سیب‌زمینی که ۱۰ درجه سانتی‌گراد است، نداشت (Villordon *et al.*, 2009). این نتایج با گزارش لوی و ویل‌لوکس (Levy and Veilleux, 2007) که مناسب‌ترین دما برای رشد جوانه‌ها در سیب‌زمینی ۱۸ درجه سانتی‌گراد است مطابقت دارد. طولانی بودن فاصله زمانی بین کاشت تا سبز شدن غده‌ها در کشت زمستانه سیب‌زمینی در خوزستان توسط دارابی و همکاران (Darabi *et al.*, 2018) نیز گزارش شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر محرک‌های رشد گیاهی بر روز تا سبز، تعداد ساقه اصلی، ارتفاع بوته، روز تا پوشش کامل، عملکرد غده، تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده

Table 3- Results of variance analysis effect of plant growth biostimulants on day to emergence, stem number, plant height, day to canopy closure, tuber number per plant and mean tuber weight

Source of variations	منابع تغییر	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squars: روز تا سبز Day to emergence	تعداد ساقه Stem number	ارتفاع بوته Plant height	روز تا پوشش کامل Day to canopy closure	عملکرد کل Total yield	تعداد غده در بوته Tuber number per plant	میانگین وزن غده Mean tuber weight
Replication	تکرار	2	2.08^{ns}	0.003^{ns}	1.02^{ns}	21.44^{**}	34.45^{**}	0.55^{**}	180.94^{*}
Cultivar (C)	رقم	1	8.33^{ns}	0.341^{**}	11.12^{ns}	17.52^{*}	938.51^{**}	20.41^{**}	632.42^{**}
Biostimulants (B)	محرک رشد	7	4.04^{ns}	0.108^{*}	17.85^{**}	11.94^{**}	75.58^{**}	0.32^{**}	394.66^{**}
C×B	رقم × محرک رشد	7	5.71^{ns}	0.048^{ns}	5.02^{ns}	4.71^{ns}	11.27^{*}	0.29^{*}	100.82^{*}
Error	خطا	30	6.37^{ns}	0.047	3.23	2.86	4.37	0.10	42.19
CV (%)	ضریب تغییرات		5.7	8.9	8.6	2.1	7.3	4.8	8.0

ns، * و **: به‌ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1% probability levels, respectively.

تعداد ساقه اصلی: اثر رقم و اثر تیمارهای مختلف محرک رشد بر تعداد ساقه اصلی به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. اما اثر متقابل رقم و محرک‌های رشد، اختلاف معنی‌داری را از لحاظ این صفت نشان نداد (جدول ۳). رقم اوتاوا بیشترین تعداد ساقه اصلی را تولید و از لحاظ این صفت بر رقم سانته برتری معنی‌داری داشت (جدول ۵). البته تعداد ساقه حتی در رقم اوتاوا که تعداد ساقه بیشتری را نسبت به رقم سانته تولید نموده بود (جدول ۵)، به دلیل پایین بودن دما در ابتدای فصل رشد در مقایسه با سایر محققان از جمله پرویزی و همکاران (Parvizi *et al.*, 2011) پایین بود. پایین بودن تعداد ساقه در کشت زمستانه در خوزستان توسط دارابی و افتخاری (Darabi and Eftekhari, 2014) نیز گزارش شده است.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر محرک‌های رشد بر بر روز تا سبز، تعداد ساقه، ارتفاع بوته و روز تا پوشش کامل

Table 4- Means comparison effect of plant growth biostimulants on day to emergence, stem number per plant, plant height and day to canopy closure

Treatment	محرک رشد گیاهی	روز تا سبز Day to emergence	تعداد ساقه Stem number	ارتفاع بوته Plant height (cm)	روز تا پوشش کامل Day to canopy closure
Humic acid	اسید هیومیک	44.00a	2.48ab	21.70ab	81.33b
Amino acid-Zn	اسید آمینه-روی	44.33a	2.45ab	21.28ab	81.33b
Amino acid-K	اسید آمینه-پتاسیم	44.83a	2.47ab	21.37ab	82.33ab
Amino acid-Ca	اسید آمینه-کلسیم	45.67a	2.35ab	21.47ab	82.00ab
Amino acid-K-Ca	اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم	44.50a	2.35ab	20.83abc	82.50ab
Combined	مصرف توأم	43.00a	2.63a	23.27a	80.83b
Amino acid	اسید آمینه	45.33a	2.38ab	19.37bc	80.67b
Control	شاهد (بدون محرک رشد)	44.67a	2.22b	17.5c	85.00a

اعداد با حروف مشترک در هر ستون با آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

در ارزیابی کاربرد محرک‌های رشد مشخص گردید که حداکثر تعداد ساقه در تیمار مصرف توأم تولید گردید ولی اختلاف تعداد ساقه در این تیمار با سایر تیمارها معنی‌دار نشد (جدول ۴). نسبت فعال شدن جوانه‌های سیب‌زمینی بر روی غده هر چند صفتی وابسته به رقم می‌باشد اما به نوبه خود تحت شرایط محیطی ابتدای فصل رشد از جمله رطوبت خاک و دما و سن فیزیولوژیکی غده بذری نیز قرار می‌گیرد (Parrvizi and Ghadami-firooz Abadi, 2015). با توجه به این‌که سن فیزیولوژیک غده بذری در هنگام کاشت در شرایط محیطی ابتدای فصل رشد در تیمارهای محرک رشد مشابه بود اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد ساقه اصلی بین تیمارهای مختلف مشاهده نگردید (جدول ۴).

ارتفاع بوته: اثر محرک‌های رشد گیاهی بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر رقم و اثر متقابل رقم و محرک‌های رشد بر صفت ارتفاع بوته معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشینه ارتفاع بوته مربوط به اثر تیمار مصرف توأم بود که نسبت به تیمار اسید آمینه و شاهد برتری معنی‌داری پیدا کرد (جدول ۴). بین مصرف تکی محرک‌های رشد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). کلیه محرک‌های رشد (به‌جز اسید آمینه-پتاسیم-کلسیم و اسید آمینه) باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به شاهد شدند. افزایش ارتفاع گیاه توسط اسید هیومیک به افزایش تأمین عناصر غذایی به‌وسیله اسید هیومیک نسبت داده می‌شود. افزایش جذب عناصر غذایی باعث افزایش فعالیت‌های زیستی گیاه شده و در نهایت باعث افزایش رشد گیاه می‌شوند (Sarhan, 2011). اگرچه کاربرد اسید آمینه به تنهایی توانست باعث افزایش ۱۰ درصدی ارتفاع بوته نسبت به شاهد گردد ولی این افزایش معنی‌دار نبود. در حالی‌که کاربرد انفرادی اسید آمینه-روی، اسید آمینه-پتاسیم و اسید آمینه-کلسیم باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به شاهد شدند (جدول ۴). تأثیر بیشتر کاربرد انفرادی محرک‌های رشد اسید آمینه‌های روی، پتاسیم و کلسیم‌دار در مقایسه با اسید آمینه در افزایش ارتفاع بوته ممکن است به دلیل نقش عنصر همراه اسید آمینه باشد. عنصر روی یکی از عناصر ضروری برای سنتز تریپتوفان بوده که پیش ماده اکسین می‌باشد (Marschner, 1995). عنصر پتاسیم با سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی (Omran *et al*., 1991) و عنصر کلسیم با تأثیر بر تعدیل گرما در انتهای فصل رشد سیب‌زمینی، باعث کاهش خسارت گرما و در نتیجه سبب بهبود رشد گیاه و ارتفاع بوته شده است. کلسیم می‌تواند با افزایش فعالیت روزنه‌ها و توسعه پروتئین‌های شوک حرارتی (پروتئین‌های درگیر در پاسخ به تنش گرمایی)، تحمل گیاه را در برابر گرما افزایش دهد (Kleinhenz and Palta, 2002).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر رقم بر روز تا سبز، تعداد ساقه، ارتفاع بوته و روز تا پوشش کامل

Table 5- Means comparison effect of cultivar on day to emergence, stem number per plant, plant height and day to canopy closure

رقم Cultivar	روز تا سبز Day to emergence	تعداد ساقه Stem number	ارتفاع بوته Plant height (cm)	روز تا پوشش کامل Day to canopy closure
Otava اوتاوا	44.13a	2.51a	20.37b	81.46b
Sante سانته	44.96a	2.32b	21.67a	82.66a

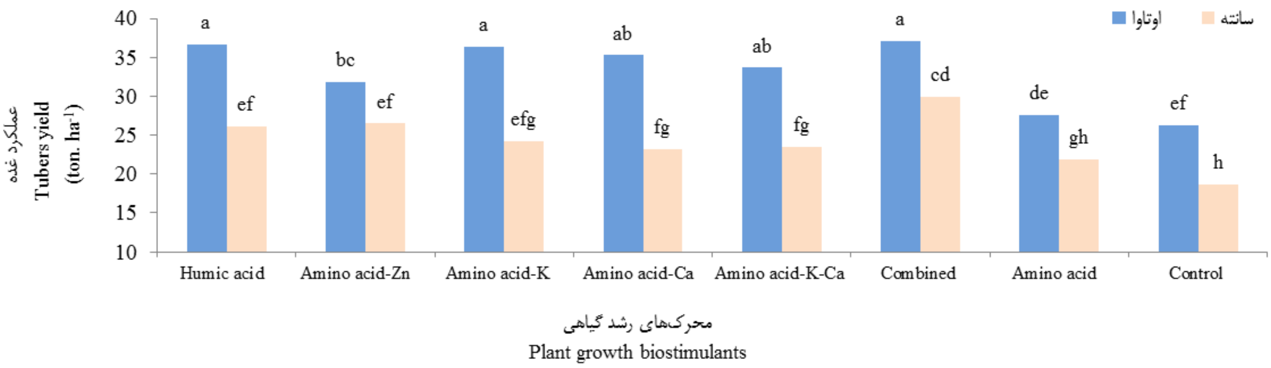
اعداد با حروف مشترک در هر ستون با آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

روز تا پوشش کامل مزرعه: اثر رقم و اثر تیمارهای محرک رشد بر صفت تعداد روز از کاشت تا پوشش کامل مزرعه به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود. اما اثر متقابل رقم و محرک‌های رشد، اختلاف معنی‌داری را از لحاظ این صفت نشان ندادند (جدول ۳). کمترین تعداد روز از کاشت تا پوشش کامل مزرعه مربوط به رقم اوتاوا بود و از لحاظ این صفت نسبت به سانته اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۵). علت کاهش تعداد روز از کاشت تا پوشش کامل مزرعه در رقم اوتاوا را می‌توان به افزایش معنی‌دار تعداد ساقه در این رقم در مقایسه با رقم سانته نسبت داد (جدول ۵). کمترین تعداد روز از کاشت تا پوشش کامل مزرعه در تیمارهای مصرف توأم و اسید آمینه مشاهده گردید و به همراه تیمارهای اسید هیومیک، اسید آمینه-روی نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان دادند (جدول ۴). با توجه به این‌که زمان کاربرد انفرادی اسید هیومیک و محلول‌پاشی اسید آمینه-روی و یا کاربرد توأم اسید هیومیک و اسید آمینه-روی در تیمار مصرف توأم در اوایل دوره رشد غده‌های سیب‌زمینی بود، تیمارهای مزبور باعث شدند که پوشش کامل مزرعه زودتر اتفاق بیفتد (جدول ۴). در بسیاری از مطالعات، کاربرد اسید هیومیک در اوایل دوره رشد گیاه باعث افزایش طول ریشه و افزایش جذب عناصر معدنی و افزایش وزن تر و خشک گیاهان زراعی شده است (Chen *et al*., 2004). علت افزایش سریع‌تر پوشش کامل مزرعه با کاربرد اسیدهای آمینه را می‌توان به تأثیر مثبت اسیدهای آمینه در رشد گیاه به‌ویژه افزایش نسبی ارتفاع و تعداد ساقه گیاه نسبت داد. افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه در حضور اسید آمینه به دلیل اثر اسید آمینه بر افزایش ایندول استیک اسید می‌باشد. ایندول استیک اسید از طریق افزایش حجم و تقسیم سلولی سبب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Manal *et al*., 2018). در این آزمایش اسید آمینه با افزایش ۱۰ درصدی ارتفاع گیاه و نیز افزایش ۷ درصدی تعداد ساقه نسبت به شاهد باعث تسریع در پوشش کامل مزرعه گردید. کاربرد عنصر روی در کمپلکس اسیدآمینه-روی نیز باعث تشدید تأثیر اسید آمینه شده است. علت تأثیر بیشتر تیمار اسیدآمینه-روی نسبت به تیمار اسید آمینه را می‌توان به نقش عنصر روی در اسیدآمینه-روی نسبت داد. اسیدهای آمینه یک لیگاند طبیعی بوده که قادرند عنصر روی را از طریق گروه‌های کربوکسیل کلات کنند و قابلیت جذب این عنصر را برای گیاه افزایش دهند (Ghasemi *et al*., 2013). لذا محلول‌پاشی روی (در ترکیب اسیدآمینه-روی) در دو مرحله (غده‌زایی و ابتدای حجیم شدن غده سیب‌زمینی)، در خاک آهکی محل مورد مطالعه (با بیش از ۵۳ درصد کربنات کلسیم معادل) که در آن جذب عنصر روی توسط ریشه با مشکل مواجه است باعث افزایش فتوسنتز و باعث افزایش رشد سریع‌تر گیاه می‌شود. وجود ارتباط بین تاریخ پوشش کامل مزرعه و ارتفاع گیاه توسط پرویزی و همکاران (Parvizi *et al*., 2011) نیز گزارش شده است. محلول‌پاشی تیمارهای اسید آمینه-پتاسیم و اسید آمینه-کلسیم دو هفته بعد از اسید آمینه-روی انجام شد و لذا نتوانستند باعث کاهش تعداد روز از کاشت تا پوشش کامل مزرعه نسبت به شاهد شوند (جدول ۴).

عملکرد غده: اثر رقم و اثر محرک رشد گیاهی بر عملکرد غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. به دلیل یکسان نبودن روند تغییرات عملکرد غده در اثر کاربرد مواد مختلف محرک رشد در دو رقم مورد مطالعه اثر متقابل رقم و محرک رشد گیاهی بر عملکرد غده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). معنی‌دار شدن اثر متقابل رقم و محرک رشد گیاهی از نظر عملکرد غده مبین این نکته است که تأثیر این ترکیبات بر میزان افزایش عملکرد غده این دو رقم یکسان نبوده است (شکل ۱). اگرچه در هر دو رقم بیشترین افزایش با کاربرد توأم محرک‌های رشد مشاهده گردید. ولی در رقم اوتاوا افزایش عملکرد این تیمار در مقایسه با کاربرد اسید هیومیک، اسید آمینه-کلسیم، اسید آمینه-پتاسیم و اسید آمینه-کلسیم و پتاسیم معنی‌دار نبود، در حالی که در رقم سانته افزایش عملکرد کاربرد تیمار توأم بر سایر تیمارهای مورد مطالعه برتری معنی‌داری داشت. بنابراین توصیه کاربرد نوع ماده محرک رشد برای هر رقم بایستی به‌صورت مستقل صورت گیرد. در هر دو رقم مورد آزمایش، تیمارهای محرک‌های رشد (به‌جز اسید آمینه) عملکرد غده را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند (شکل ۱).

در رقم سانته بیشترین عملکرد غده مربوط به تیمار مصرف توأم بود. کاربرد انفرادی محرک‌های رشد اسید هیومیک و اسید آمینه-روی بعد از تیمار مصرف توأم قرار گرفتند. احتمالاً کاربرد اسید هیومیک پس از سبز شدن غده‌های سیب‌زمینی با افزایش طول ریشه و افزایش جذب آب و عناصر معدنی باعث بهبود رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد محصول گردیده است (Chen *et al*., 2004). علت افزایش عملکرد با کاربرد اسید آمینه-روی را می‌توان به تأثیر مثبت اسیدهای آمینه و عنصر روی بر متوسط وزن غده نسبت داد. تأثیر مثبت اسیدهای آمینه، بر عملکرد و اجزای عملکرد به جهت اهمیت اسیدهای آمینه در گستره وسیعی از بیوسنتز انواع مختلفی از مواد نیتروژن‌دار مانند رنگدانه‌ها، ویتامین‌ها، کانسامین‌ها، پورین و پیریمیدین نسبت داده می‌شود (El-Said and Mahdy, 2016). در این آزمایش کاربرد روی در تیمار اسید آمینه-روی، به دلیل کمبود روی و مشکل جذب روی از خاک (به جهت آهکی بودن خاک)، توانست به‌طور معنی‌داری باعث افزایش ارتفاع و رشد بوته سیب‌زمینی گردد (جدول ۴).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر محرک‌های رشد گیاهی بر عملکرد کل غده. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 1- Mean comparison effect of plant growth biostimulants on tubers yield. Columns with same letters are not significantly difference by using Duncan multiple test rate at P≤0.05 probability.

این در حالی است که عنصر روی برای رشد و عملکرد مناسب گیاه به دلیل تأثیر آن در فرآیندهای فتوسنتزی از طریق سنتز کلروفیل، ضروری است (Ali *et al*., 2008). در صورت کمبود روی، به دلیل اختلالات آنزیمی، از جمله سنتز پروتئین که در گیاه رخ می‌دهد رشد و نمو و در نهایت عملکرد گیاه افت پیدا می‌کند (Alloway, 2009). هم‌چنین، عنصر روی با تأثیر بر ظرفیت جذب و انتقال آب (Disante *et al*., 2010) با کاهش اثرات نامطلوب تنش گرمایی در گیاه سبب افزایش عملکرد شده است. موسوی و همکاران (Mousavi *et al*., 2007) گزارش نمودند که کاربرد برگی روی به دلیل جذب سریع‌تر، کاربرد آسان و رفع سریع کمبود روی در بافت‌های گیاه از کاربرد خاکی آن‌ها بهتر است. مشابه نتایج این آزمایش، پژوهشگران با محلول‌پاشی روی باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه و برگ و سطح برگ سیب‌زمینی شیرین شده و در نهایت باعث افزایش عملکرد گیاه شدند (Abd El-Baky *et al*., 2010). در رقم اوتاوا، افزایش معنی‌دار عملکرد غده در اثر کاربرد اسید هیومیک را می‌توان به افزایش تعداد غده در بوته نسبت داد. مشابه با این نتایج، سرهان (Sarhan, 2011) نیز گزارش نمود کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌داری در رشد شاخ و برگ، تعداد غده و وزن غده و در نهایت منجر به افزایش عملکرد گیاه سیب‌زمینی شده است. تأثیر بیشتر تیمارهای اسید آمینه-پتاسیم و اسید آمینه-کلسیم نسبت به اسید آمینه-روی و اسید آمینه در رقم اوتاوا را می‌توان به کاربرد عناصر پتاسیم یا کلسیم نسبت داد. در گزارشی پژوهشگران بیان کردند مصرف کلسیم در سیب‌زمینی در طول دوره حجیم شدن غده‌ها، باعث افزایش میانگین وزن غده‌ها می‌شود (Kumar *et al*., 2015). علاوه بر این، احتمالاً پتاسیم و کلسیم با افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش‌های محیطی گرمای آخر فصل سبب افزایش عملکرد سیب‌زمینی شده است. احتمالاً عنصر پتاسیم با سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی (Omran *et al*., 1991) و عنصر کلسیم با تأثیر بر تعدیل گرما در انتهای فصل رشد سیب‌زمینی، باعث کاهش خسارت گرما و در نتیجه سبب افزایش عملکرد شده است. کلسیم می‌تواند با بهبود فعالیت روزنه‌ها و توسعه پروتئین‌های شوک حرارتی (پروتئین‌های درگیر در پاسخ به تنش گرمایی)، تحمل گیاه را در برابر گرما افزایش دهد (Kleinhenz and Palta, 2002). به نظر می‌رسد که افزایش تنفس و کاهش تسهیم مواد پرورده به طرف غده‌ها در شرایط تنش گرما، باعث کاهش وزن غده‌ها و کاهش عملکرد غده می‌شود (Lafta, and Lorenzen, 1995; Levy and Veilleux, 2007). تأثیر متفاوت تیمارهای اسید آمینه-روی، اسید آمینه-پتاسیم و اسید آمینه-کلسیم در ارقام اوتاوا و سانته را می‌توان به حساسیت متفاوت ارقام نسبت به تنش گرمایی و واکنش متفاوت ارقام به کاربرد محرک‌های رشد گیاهی و عناصر غذایی مصرفی نسبت داد. متفاوت بودن حساسیت ارقام نسبت به تنش گرمایی توسط ریکاسزوسکا (Rykaczewska, 2013) نیز گزارش شده است.

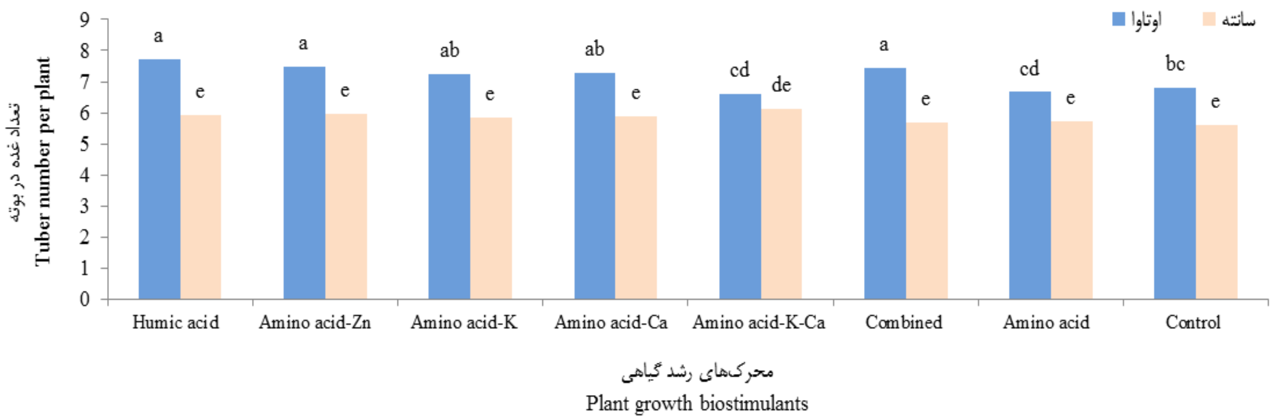
ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که حتی عملکرد رقم اوتاوا با مصرف تیمار توأم که در بین تیمارهای آزمایشی حداکثر عملکرد را تولید نمود نسبت به عملکرد این محصول در مناطق معتدله کشور (Parvizi *et al*., 2011) به میزان قابل‌توجهی پایین‌تر است. یکی از دلایل مهم پایین بودن عملکرد سیب‌زمینی در مناطق گرمسیری، بالا بودن دما در مرحله حجیم شدن غده می‌باشد که از طریق کاهش فتوسنتز و افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به غده‌ها و افزایش میزان انتقال آن‌ها به بخش‌های دیگر گیاه و کاهش رشد غده باعث کاهش عملکرد سیب‌زمینی در این مناطق می‌شود (Van Dam *et al*., 2008).

تعداد غده در بوته: اثر رقم و اثر محرک رشد گیاهی بر تعداد غده در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اما اثـر متقابـل رقم و محرک رشد گیاهی بر این صفت در سطح احتمال پـنج درصـد معنی‌دار گردید (جدول ۳). ارزیابی اثـر متقابـل رقـم و محـرک رشـد گیاهی از نظر تعداد غده در بوته مشخص نمود که تأثیر این ترکیبـات بر تعداد غده در بوته بسته به رقم متفاوت می‌باشد (شـکل ۲). کـاربرد محرک‌های رشد گیاهی در رقم سانته تأثیری بر تعداد غده در هر بوته نداشت. ولی در رقم اوتاوا با کاربرد اسید هیومیک، اسـید آمینـه–روی، اسید آمینه–پتاسیم، اسید آمینه–کلسیم و مصرف توأم، تعـداد غـده در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۲).

افزایش تعد اد غده در بوته توسط اسید هیومیک را مـی‌تـوان بـه دلیل افزایش تأمین عناصر غذایی به‌وسیله اسید هیومیک نسـبت داد. اسید هیومیک با افزایش طول ریشه و افزایش جـذب عناصـر معـدنی باعث افزایش فعالیت‌های زیستی و رشد گیاه شـده (Sarhan, 2011) و از این طریق شرایط را برای افزایش تعداد غده در بوته فراهم نموده است. هماهنگ با نتایج این پژوهش، ریـزک و همکـاران (Rizk, *et al.*, 2013) نیز تأثیر مثبت اسید هیومیک در افـزایش تعـداد غـده در بوته را گزارش نموده‌اند. به دلیل این‌که اسید آمینه بـه تنهـایی تـأثیر معنی‌داری بر تعداد غده در بوته نداشته است، تأثیر مثبت اسید آمینه–روی در افزایش تعداد غده در بوته را می‌توان بـه عنصـر روی نسـبت داد. عنصر روی به دلیل تأثیر از طریق سنتز کلروفیل، باعـث افـزایش فتوسنتز شده (Ali *et al.*, 2008) و به این علت امکـان رشـد و نمـو برای تعداد بیشتری غده فـراهم نمـوده اسـت. تـأثیر کـاربرد روی بـر افزایش تعداد غده در بوته توسط جم و همکاران (Jam *et al.*, 2015) نیز گزارش شده است.

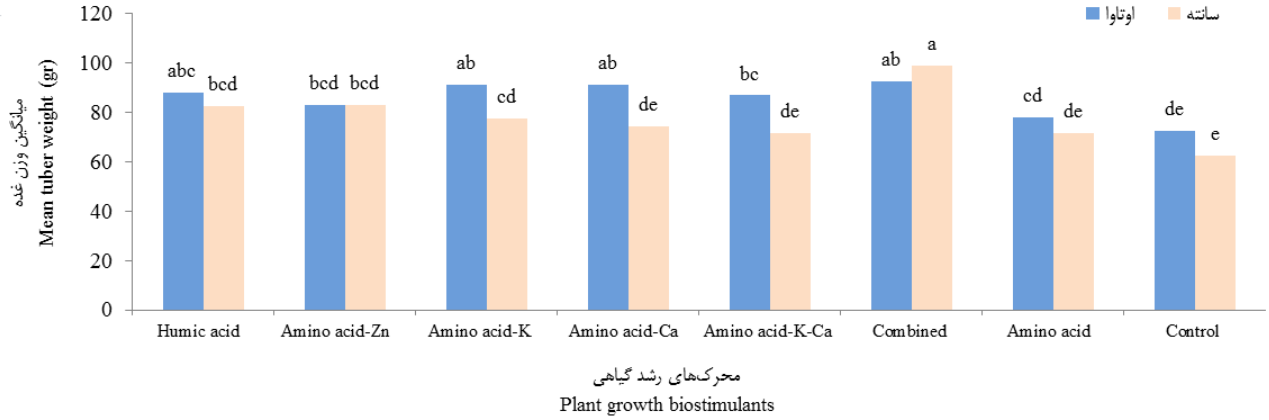
میانگین وزن غده: اثر رقـم و اثـر محـرک رشـد گیـاهی بـر میانگین وزن غده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ولـی اثـر متقابل رقم و محرک رشد گیاهی بر این صفت در سطح احتمال پـنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). نتایج اثر متقابل رقم و محرک رشـد گیاهی بر متوسط وزن غده مشخص نمود که در هر دو رقـم، حـداکثر متوسط وزن غده در تیمار مصرف توأم تولید شده است. در رقم سانته، تیمار مصرف توأم از لحاظ این صفت بر سایر تیمارهای محرک رشـد برتری معنی‌دار داشت در حالی‌که در رقم اوتاوا تیمار مصرف توأم فقط بر تیمار اسید آمینه و شاهد برتری معنی‌دار پیدا کرد (شکل ۳). در رقم سانته، در بین تیمارهای انفرادی، اسید هیومیک، اسـید آمینـه–روی و اسید آمینه–پتاسیم نسبت به شاهد برتری داشتند. در رقـم اوتـاوا نیـز تیمارهای اسید هیومیک و تیمارهای پتاسیم یـا کلسـیم‌دار نسـبت بـه شاهد برتری یافتند (شکل ۳).

علت افزایش میانگین وزن غده توسط اسید هیومیـک در هـر دو رقم سیب‌زمینی را می‌توان به بهبود شرایط رشد ریشه و بهبود جـذب آب و موادغذایی نسبت داد (Sarhan, 2011). افـزایش میـانگین وزن غده در اثر کاربرد اسیدهیومیک توسط ریزک و همکـاران (Rizk, *et al.*, 2013) نیز گزارش شده است. بـه دلیـل کمبـود عنصـر روی در خـاک محـل آزمـایش (جـدول ۲)، محلـول‌پاشـی روی در ترکیـب اسیدآمینه–روی باعث رفع سریع کمبود روی شده و با تأثیر بـر بهبـود سنتز کلروفیـل (Ali *et al.*, 2008) باعـث بهبـود رشـد گیـاه و وزن غده‌های سیب‌زمینی شده است. تأثیر بیشتر تیمارهـای اسـید آمینـه–پتاسیم و اسید آمینه–کلسیم نسبت به اسید آمینه–روی و اسـید آمینـه در رقم اوتاوا نسبت به رقم سانته را می‌توان به تأثیر عناصر پتاسیم یـا کلسیم نسبت داد. احتمالاً حساسیت و واکنش ارقام نسـبت بـه تـنش گرمایی و پاسخ به کاربرد محرک‌های رشد گیـاهی و عناصـر غـذایی مصرفی متفاوت بوده است. متفاوت بودن حساسیت ارقـام نسـبت بـه تـنش گرمـایی توسـط ریکاسزوسـکا (Rykaczewska, 2013) نیـز گزارش شده است.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر محرک‌های رشد گیاهی بر تعداد غده در بوته. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 2- Mean comparison effect of plant growth biostimulants on tuber number per plant. Columns with same letters are not significantly difference by using Duncan multiple test rate at P≤0.05 probability.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر محرک‌های رشد گیاهی بر میانگین وزن غده. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

Figure 3- Mean comparison effect of plant growth biostimulants mean tuber weight. Columns with same letters are not significantly difference by using Duncan multiple test rate at P≤0.05 probability.

در گزارشی پژوهشگران بیان کردند مصرف کلسیم در سیب‌زمینی در طول دوره حجیم شدن غده‌ها، باعث افزایش میانگین وزن غده‌ها می‌شود (Kumar *et al.*, 2015). علاوه بر این، به نظر می‌رسد که پتاسیم و کلسیم با افزایش مقاومت گیاه در مقابل تنش‌های محیطی گرمای آخر فصل سبب افزایش وزن غده سیب‌زمینی شده است. احتمالاً عنصر پتاسیم با سازگاری گیاه به تنش‌های محیطی (Omran *et al.*, 1991) و عنصر کلسیم با تأثیر بر تعدیل گرما در انتهای فصل رشد سیب‌زمینی، باعث کاهش خسارت گرما و در نتیجه سبب افزایش وزن غده شده است (Aien and Jalali, 2018).

آنالیز رشد: نتایج تجزیه واریانس مشخص نمود اثر دوره نمونه‌برداری، اثر رقم، اثر محرک رشد، اثر متقابل دوره نمونه‌برداری و رقم، اثر متقابل دوره نمونه‌برداری و محرک رشد، اثر متقابل رقم و محرک رشد و اثر متقابل دوره نمونه‌برداری، رقم و محرک رشد بر سرعت رشد اندام هوایی، سرعت رشد غده، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶).

جدول ٦- تجزیه واریانس اثر محرک‌های رشد گیاهی بر سرعت رشد اندام هوایی، سرعت رشد غده، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی گیاه

Table 6- Results of variance analysis effect of plant growth biostimulants on haulm growth rate, tuber growth rate, crop growth rate and relative growth rate

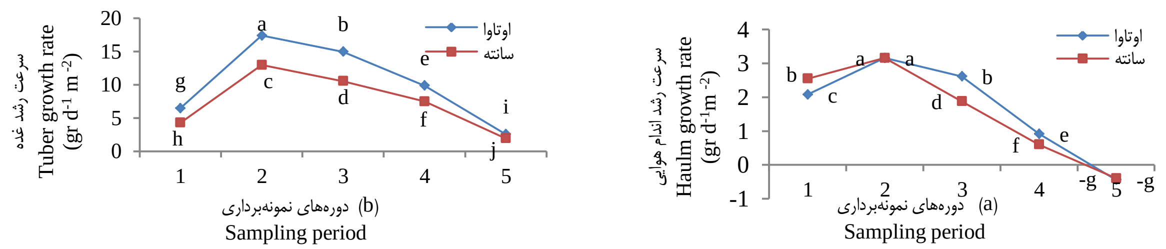
			Mean squars میانگین مربعات			
Source of variations	**منابع تغییر**	**d.f درجه آزادی**	**سرعت رشد اندام هوایی Haulm growth rate**	**سرعت رشد غده Tuber growth rate**	**سرعت رشد محصول Crop growth rate**	**سرعت رشد نسبی Relative growth rate**
Replication	تکرار	2	0.001**	0.556**	0.590**	8.14×10^{-6}**
Time (T)	دوره نمونه‌برداری	4	97.805**	1333.890**	1992.233**	0.035**
Error	خطا	8	0.030	0.564	0.463	4×10^{-6}
Cultivar (C)	رقم	1	0.713**	475.180**	511.181**	1.27×10^{-4}**
T×C	دوره نمونه‌برداری × رقم	4	9.720**	31.691**	42.560**	1.11×10^{-5}**
Biostimulants (B)	محرک رشد	7	26.708**	65.499**	97.188**	2.16×10^{-4}**
T×B	دوره نمونه‌برداری × محرک رشد	28	21.577**	12.750**	16.87**	1.48×10^{-4}**
C×B	رقم × محرک رشد	7	1.507**	10.467**	13.078**	4.72×10^{-5}**
T×C×B	دوره نمونه‌برداری× رقم × محرک رشد	28	5.023**	4.560**	5.693**	3.57×10^{-5}**
Error	خطا	150	0.019	0.216	0.228	2.27×10^{-6}
CV (%)	ضریب تغییرات		8.6	5.3	4.6	4.2

ns، * و **: به‌ترتیب نبود تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns, *, **: Non-significantly difference and significantly difference at 5 and 1% probability levels, respectively.

سرعت رشد اندام‌های هوایی: در دوره اول نمونه‌برداری سرعت رشد اندام‌های هوایی رقم سانته نسبت به اوتاوا برتری معنی‌داری داشت. در دوره دوم نمونه‌برداری که حداکثر این شاخص مشاهده گردید اختلاف معنی‌داری بین دو رقم مشاهده نشد. در دوره‌های سوم و چهارم نمونه‌برداری برتری این شاخص در رقم اوتاوا نسبت به سانته معنی‌دار بود. در دوره پنجم نمونه‌برداری به علت مسن شدن برگ‌ها و کاهش رشد رویشی سرعت رشد اندام‌های هوایی در هر دو رقم منفی و نیز غیر معنی‌دار گردید (شکل الف ۴). منفی شدن سرعت رشد اندام‌های هوایی سیب‌زمینی در اواخر دوره رشد و نمو توسط پژوهشگران نیز گزارش شده است (Darabi, 2017; Kleinkopf *et al*., 2003; Darabi and Eftekhari, 2014). بررسی اثر متقابل دوره نمونه‌برداری و محرک‌های رشد نشان داد که تیمار مصرف توأم از اولین دوره تا چهارمین دوره نمونه‌برداری بیشترین سرعت رشد در اندام هوایی را به خود اختصاص داد و از نظر این صفت بر سایر تیمارها برتری معنی‌داری داشت (جدول ۷).

در بین کاربرد تکی محرک‌های رشد، اسید هیومیک تا دوره سوم نمونه‌برداری و اسید آمینه-روی تا دوره دوم نمونه‌برداری تأثیر بیشتری بر سرعت رشد اندام هوایی نسبت به سایر تیمارها داشتند. دلیل تأثیر بیشتر این دو تیمار زمان کاربرد آن‌ها بود. اسید هیومیک بعد از مرحله سبز شدن و اسید آمینه-روی در مرحله غده‌زایی و ابتدای حجیم شدن غده مصرف شدند. در نتیجه بیشترین تأثیر این محرک‌های رشد به اوایل دوره رشد و نمو مربوط بود. به همین دلیل این دو تیمار سبب افزایش این شاخص نسبت به سایر محرک‌های رشد شدند. در حالی‌که اسید آمینه‌های پتاسیم یا کلسیم‌دار که در مراحل ابتدا و اواسط مرحله حجیم شدن غده‌ها مصرف شدند باعث افزایش معنی‌دار سرعت رشد اندام هوایی نسبت به سایر محرک‌های رشد (به‌جز اسید هیومیک) در چهارمین دوره نمونه‌برداری گردید (جدول ۷).



شکل ٤- روند تغییرات سرعت رشد اندام های هوایی و غده تحت تأثیر ارقام

Figure 4- Changes trend of haulm growth rate and tubers with different cultivars

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل دوره نمونه‌برداری و محرک‌های رشد گیاهی بر سرعت رشد اندام‌های هوایی

Table 7- Means comparison of interaction plant growth biostimulants in sampling period on haulm growth rate

Sampling period	دوره نمونه‌برداری	اسید هیومیک Humic acid	اسید آمینه- روی Amino acid-Zn	اسید آمینه- پتاسیم Amino acid-K	اسید آمینه- کلسیم Amino acid-Ca	اسید آمینه- پتاسیم- کلسیم Amino acid-K-Ca	مصرف توأم (بدون اسید آمینه) Combined	اسید آمینه Amino acid	شاهد Control
First	اول	3.034e	2.545gh	1.773j	1.793j	1.839j	3.209d	2.555gh	1.766j
Second	دوم	3.808b	3.281cd	2.834f	2.82f	2.849f	3.993a	3.045e	2.661g
Third	سوم	2.648g	2.525gh	2.425h	2.123i	2.204i	3.432c	1.438k	1.175l
Fourth	چهارم	0.757mn	0.696no	0.867mn	0.789mn	0.899m	1.085l	0.577o	0.404p
Fifth	پنجم	-0.45qr	-0.425qr	-0.490r	-0.451qr	-0.307q	-0.424qr	-0.410qr	-0.397qr

اعداد با حروف مشترک در هر ستون با آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

سرعت رشد غده: روند تغییرات سرعت رشد غده در ارقام مورد بررسی نشان داد که این شاخص تا دوره دوم نمونه‌برداری افزایش و سپس کاهش یافت (شکل ب ۴). به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود در دوره‌های مختلف نمونه‌برداری سرعت رشد غده در رقم اوتاوا به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم سانته بود (شکل ب ۴). در اواخر دوره رشد سیب‌زمینی سرعت رشد غده در ارقام به حداقل رسید. این

نتایج با گزارش برخی از پژوهشگران که معمولاً سرعت رشد غـده در اواخر دوره رشد و نمو افزایش نمی‌یابد هم‌خوانی دارد (Kleinkopf *et al.*, 2003). چنین روندی در مورد تغییرات سرعت رشد غـده توسـط دارابی و صـالحی محمـدی (Darabi and Salehi Mohammadi, 2015) نیز مشاهده شده است. بررسی روند تغییرات سرعت رشد غده و اندام‌هایی هوایی مشخص نمود هنگامی که سرعت رشـد غـده بـه حداکثر خود می‌رسد، سرعت رشد اندام‌های هوایی کـاهش مـی‌یابـد، دلیل این موضوع رقابت بین انـدام‌هـای هـوایی و غـده بـرای جـذب آسیمیلات‌ها و قوی‌تر بودن غده برای هدایت و جذب بیشتر این مواد به سمت خـود مـی‌باشـد (Rowe, 1993). بررسـی اثـر متقابـل دوره نمونه‌برداری و محرک‌های رشد نشان داد که تیمـار مصـرف تـوأم از اولین تا چهارمین دوره نمونه‌برداری باعث بیشـترین افـزایش سـرعت رشد غده گردید که این افزایش نسبت به سایر تیمارها (بـه‌جـز اسـید آمینه-پتاسیم و اسید آمینه-کلسیم در دوره سوم) معنی‌دار بود (جـدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل دوره نمونه‌برداری و محرک‌های رشد گیاهی بر سرعت رشد غده

Table 8- Means comparison of interaction plant growth biostimulants in sampling period on tuber growth rate

Sampling period	دوره نمونه‌برداری	اسید هیومیک Humic acid	اسید آمینه- روی Amino acid-Zn	اسید آمینه- پتاسیم Amino acid-K	اسید آمینه- کلسیم Amino acid-Ca	اسید آمینه- پتاسیم-کلسیم Amino acid-K-Ca	مصرف توأم (بدون اسید آمینه) Combined	اسید آمینه Amino acid	شاهد Control
First	اول	5.762n	5.617no	5.299nop	5.058op	5.215nop	6.884m	4.159q	4.953p
Second	دوم	17.45b	16.781c	13.639f	12.937g	13.425fg	19.557a	14.808e	12.847g
Third	سوم	13.428fg	11.713h	15.419d	15.089de	12.953g	15.606d	10.264i	7.47l
Fourth	چهارم	9.812ij	8.464k	9.508j	10.205i	8.782k	11.204h	6.53m	4.831p
Fifth	پنجم	2.935r	1.802s	2.527r	2.677r	1.944s	2.731r	1.87s	1.383s

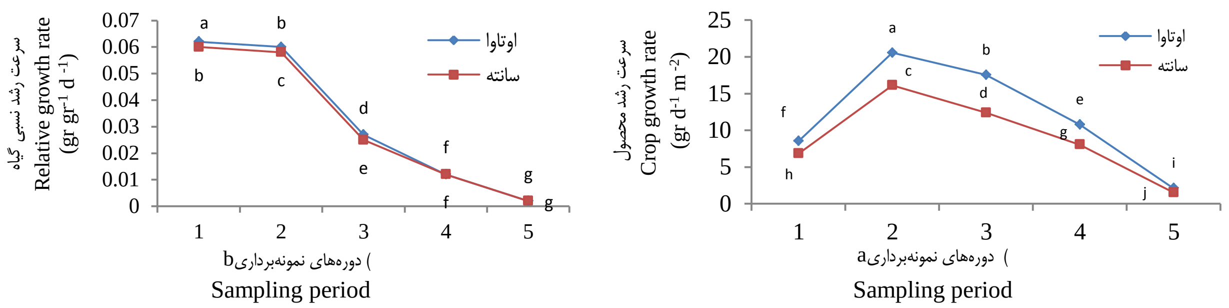
اعداد با حروف مشترک در هر ستون با آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

به همین دلیل، حداکثر تجمع ماده خشک غـده بـه تیمـار مزبـور اختصاص یافت. از نظـر سـرعت رشـد غـده، تیمارهـای تکـی اسـید هیومیک و اسید آمینه-روی در دوره دوم نسبت بـه سـایر تیمارهـای انفرادی برتری معنی‌داری داشتند در حالی‌که در مراحل سوم و چهـارم نمونه‌برداری، سرعت رشد غده تحـت تـأثیر تیمارهـای اسـید آمینـه-پتاسیم یا اسـید آمینـه-کلسـیم برتـری معنـی‌داری نسـبت بـه سـایر تیمارهای انفرادی (به‌جز اسید هیومیک در مرحله چهارم) پیـدا کردنـد (جدول ۸). بـه نظـر مـی‌رسـد تفـاوت در اثرگـذاری کـاربرد انفـرادی محرک‌های رشد بر سرعت رشد غده، مانند شاخص سرعت رشد اندام هوایی بـه زمـان کـاربرد آن‌هـا بسـتگی دارد. هماهنـگ بـا گـزارش پژوهشگران می‌توان نتیجه‌گیری نمود کـه اخـتلاف در سـرعت رشـد غده در تیمارها سبب اختلاف در عملکرد شده و سـرعت رشـد بیشـتر غده، عملکرد بالاتری را نیز بـه دنبـال داشـته اسـت (Mousapour Gorji and Hassanabadi, 2012). علی‌رغـم متوقـف شـدن رشـد رویشی و کاهش وزن اندام‌های هوایی در اواخر دوره رشد و نمو گیاه، رشد غده در همه تیمارها با سرعت متفاوت، تا هنگام برداشت افزایش یافت که دلیل آن را می‌توان به باز جذب مواد ذخیره شـده در آونـدها نسبت داد (Kleinkopf *et al.*, 2003).

سرعت رشد محصول

در اولین دوره نمونه‌برداری سرعت رشد محصول در ارقام اوتاوا و سانته به‌ترتیب ۸/۵۴ و ۶/۸۳ گرم در روز در متر مربع بود. با افـزایش سطح برگ و در نتیجه افـزایش جـذب نـور، سـرعت رشـد محصـول افزایش یافت. حداکثر سرعت رشد محصول در ارقـام اوتـاوا و سـانته به‌ترتیب ۲۰/۵۵ و ۱۶/۱۳ گرم در روز در متر مربع رسید (شـکل الـف ۵). در این پژوهش هماهنگ با گزارش محققان در اواخر دوره رشـد و نمو به علت کاهش رشد رویشی و در سایه قرار گرفتن برگ‌های پیـر، سرعت رشـد محصـول سـیر نزولـی داشـت (Al-Mahmud *et al.*, 2014). به‌طوری‌که در شکل (۵ الف) ملاحظه می‌شود در طـول دوره نمونه‌برداری، سرعت رشد محصول در رقم اوتاوا بـه‌طـور معنـی‌داری بیشتر از رقم سانته بود. بیشتر بودن سـرعت رشـد محصـول در رقـم اوتاوا نسبت به رقم سانته را می‌توان به برتری معنی‌دار سـرعت رشـد غــده و ســرعت رشــد انــدام هــوایی (بــه‌جــز در دوره اول و دوم نمونه‌برداری) در طول دوره رشد و نمو غده‌های سـیب‌زمینـی نسـبت داد.



شکل ۵- روند تغییرات سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی تحت تأثیر ارقام

Figure 5- Changes trend of crop growth rate and relative growth rate with different cultivars

اثر متقابل دوره‌های نمونه‌برداری و محرک‌های رشد بر سرعت رشد محصول نشان داد که سرعت رشد محصول علاوه‌بر محرک‌های رشد تحت تأثیر زمان مصرف این ترکیبات نیز می‌باشد. از اولین تا چهارمین دوره نمونه‌برداری حداکثر سرعت رشد محصول در تیمار مصرف توأم مشاهده شد به‌طوری‌که تیمار مزبور از نظر این شاخص نسبت به سایر تیمارها برتری معنی‌داری داشت. کاربرد انفرادی اسید هیومیک یا اسید آمینه-روی در اوایل دوره رشد و نمو گیاه سیب‌زمینی موثرتر از سایر تیمارهای انفرادی بود ولی کاربرد اسید آمینه‌های پتاسیم یا کلسیم‌دار در مراحل بعدی رشد گیاه باعث تأثیر بیشتر این تیمارها نسبت به بقیه تیمارها بود (جدول ۹).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل دوره نمونه‌برداری و محرک‌های رشد گیاهی بر سرعت رشد محصول

Table 9- Means comparison of interaction plant growth biostimulants in sampling period on crop growth rate

Sampling period	دوره نمونه‌برداری	اسید هیومیک Humic acid	اسید آمینه- روی Amino acid-Zn	اسید آمینه- پتاسیم Amino acid-K	اسید آمینه- کلسیم Amino acid-Ca	اسید آمینه- پتاسیم-کلسیم Amino acid-K-Ca	مصرف توأم (بدون اسید آمینه) Combined	اسید آمینه Amino acid	شاهد Control
First	اول	8.796r	8.161s	7.071t	6.851t	7.054t	10.093op	6.714t	6.72t
Second	دوم	21.259b	20.061c	16.473g	15.757hi	16.274gh	23.55a	17.853e	15.508ij
Third	سوم	15.981ghi	14.238k	17.844e	17.214f	15.157j	19.038d	11.701m	8.645rs
Fourth	چهارم	10.569no	9.16qr	10.374lo	10.994n	9.681pq	12.29l	7.107t	5.207u
Fifth	پنجم	2.484v	1.377xy	2.037vw	2.227v	1.637wx	2.307v	1.46xy	1.01y

اعداد با حروف مشترک در هر ستون با آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

سرعت رشد نسبی: روند تغییرات سرعت رشد نسبی در ارقام مورد بررسی نشان داد که حداکثر این شاخص در دوره اول نمونه‌برداری مشاهده شد (شکل ب ۵). بیشترین سرعت رشد نسبی گیاه به رقم اوتاوا تعلق داشت. از دوره دوم نمونه‌برداری این شاخص کاهش یافت. کاهش سرعت رشد نسبی با افزایش سن گیاه به این دلیل است که با افزایش سن، بافت‌هایی که به اندام‌های هوایی گیاه اضافه می‌شوند بافت‌های ساختمانی هستند که نقشی در رشد گیاه ندارند. کاهش سرعت رشد نسبی با افزایش سن گیاه توسط محققان نیز گزارش شده است (Mousapour Gorji and Hassanabadi, 2012; Mompie *et al*., 2016). اثر متقابل دوره نمونه‌برداری و محرک‌های رشد بر سرعت رشد نسبی نشان داد که در دوره‌های اول و دوم نمونه‌برداری تیمارهای مصرف توأم، اسید هیومیک و اسید آمینه-روی سرعت رشد نسبی بیشتری از سایر تیمارها داشتند (جدول ۱۰). ولی در دوره سوم و چهارم نمونه‌برداری، تأثیر اسید آمینه‌های پتاسیم یا کلسیم‌دار بیشتر از تیمارهای اسید هیومیک و اسید آمینه-روی و این برتری در دوره سوم نمونه‌برداری معنی‌دار بود (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل دوره نمونه برداری و محرک‌های رشد گیاهی بر سرعت رشد نسبی
Table 10- Means comparison of interaction plant growth biostimulants in sampling period on relative growth rate

Sampling period	دوره نمونه‌برداری	اسید هیومیک Humic acid	اسید آمینه- روی Amino acid-Zn	اسید آمینه- پتاسیم Amino acid-K	اسید آمینه- کلسیم Amino acid-Ca	اسید آمینه- پتاسیم- کلسیم Amino acid-K-Ca	مصرف توأم (بدون اسید آمینه) Combined (non-amino acid)	اسید آمینه Amino acid	شاهد Control
First	اول	0.0712a	0.0685b	0.0540fg	0.0511h	0.0569e	0.0725a	0.0558ef	0.0598d
Second	دوم	0.0630c	0.0635c	0.0552efg	0.0536g	0.0564e	0.0629c	0.0611d	0.0565e
Third	سوم	0.0252kl	0.0244l	0.0311i	0.0308i	0.0279j	0.0267jk	0.0221m	0.0195n
Fourth	چهارم	0.0127op	0.0120pq	0.0129op	0.0144o	0.0135op	0.0128op	0.0106qr	0.00146s
Fifth	پنجم	0.00263s	0.00155s	0.00207s	0.00219s	0.00144s	0.00196s	0.0089r	0.00153s

اعداد با حروف مشترک در هر ستون با آزمون دانکن دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری نمود، در هر دو رقم سانته و اوتاوا استفاده از محرک‌های رشد گیا

هی (به‌جز اسید آمینه) به‌صورت تکی یا مصرف توأم باعث افزایش معنی‌دار عملکرد کل غده شد ولی بیشترین تأثیر مربوط به مصرف توأم تیمارها بود. در رقم سانته برتری تیمار مصرف توأم از نظر عملکرد بر سایر تیمارها معنی‌دار بود. بنابراین، کاربرد اسید هیومیک به‌صورت کود آبیاری به همراه دومین آبیاری و محلول‌پاشی اسید آمینه-روی در مراحل غده‌زایی و ابتدای حجیم شدن غده و محلول‌پاشی اسید آمینه-پتاسیم یا اسید آمینه-کلسیم در مراحل ابتدا و اواسط مرحله حجیم شدن غده‌ها توصیه می‌شود. ولی در رقم اوتاوا، برتری تیمار مصرف توأم نسبت به تیمارهای پتاسیم یا کلسیم‌دار یا اسید هیومیک معنی‌دار نبود. بنابراین در این رقم کاربرد اسید آمینه-های پتاسیم یا کلسیم‌دار یا اسید هیومیک توصیه می‌شوند.

References

1. Abd El-Baky, M. M. H., Ahmed, A. A., El-Nemr, M. A., and Zaki, M. F. 2010. Effect of potassium fertilizer and foliar zinc application on yield and quality of sweet potato. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 6: 386-394.
2. Aien, A., and Jalali, A. 2018. Effect of foliar application of calcium nitrate application on yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars under terminal heat stress condition in south of Kerman province. Iranian Journal of Crop Sciences 20 (3): 193-208. (in Persian with English abstract).
3. Ahmadi, K., Abadzadeh, H., Hatemi, P., Abdeshah, H., and Kazemian, H. 2019. Agricultural statistics, first volume-horticultural and field crop, 2016-17. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Programing and Economic Deputy, Statistics and Information Technology Office. pp.68. (in Persian).
4. Ali, S., Riaz, K. A., Mairaj, G., Arif, M., Fida, M., and Bibi, S. 2008. Assessment of different crop nutrient management practices for yield improvement. Australian Journal of Crop Science 2: 150-157.
5. Alloway, B. J. 2009. Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environ Geochemist Health 31: 537-548.
6. Amiri, Z., Asghari, J., and Penahi Kord aghari, K. 2009. Effect of irrigation regimes and fertilizer combinations on yield of two potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars in Freidan. Journal of Water and Soil Science 12 (46): 177-186. (in Persian with English abstract).
7. Anwar, S., Iqbal, F., Khattak, W. A., Islam, M., and Khan, S. 2016. Response of wheat crop to humic acid and nitrogen levels. EC Agriculture 3 (1): 558-565.
8. Al-Mahmud, A., Altaf, H., Abdullah, A., Shamimuzzaman, E. H., Shafiur, R., Shawquat, A. K., and Bazzaz, B. 2014. Plant canopy, tuber yield and growth analysis of potato under moderate and severe drought condition. Journal of Plant Science 2 (5): 201-208.
9. Chen, Y., Clapp, C. E., and Magen, H. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: the role of organo iron complexes. Soil Science and Plant Nutrition 50 (7): 1089-1095.
10. Disante, K. B., Fuentes, D., and Cortina, J. 2010. Sensitivity to zinc of mediterranean woody species important for restoration. Science of The total Environment 408 (10): 2216-2225.
11. Darabi, A. 2013. Effect of planting date on total and marketable yield of potato cultivars in Khuzestan province in Iran. Seed and Plant Production Journal 29-2 (3): 369-386. (in Persian with English abstract).
12. Darabi, A., and Eftekhari, S. A. 2014. Investigaton the phenology stages and some growth indices of three potato

(*Solanum Tuberosum* L.) cultivars. Journal of Plant Productions 37 (2): 53-68. (in Persian with English abstract).
13. Darabi, A. 2017. Study on the agro-meteorological indices at different phenological stages and growth analysis of new potato genotypes. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 18 (3): 271-286. (in Persian with English abstract).
14. Darabi, A., and Salehi Mohammadi, R. 2015. Effect of planting date on dry matter content and agronomical characteristics of potato cultivars influenced by natural frost in field conditions. Iranian Journal of Horticultural Science 46 (1): 27-39. (in Persian with English abstract).
15. Darabi, A., Omidvari, S., Shafiezargar, A. R., Rafie, M. R., and Javadzadeh, M. 2018. Impact of integrated management of nitrogen fertilizers on yield and nutritional quality of potato. Journal of Plant Nutrition 41 (19): 2482-2494.
16. Ewing, E. E., and Struik, P. C. 1992. Tuber formation in potato: induction, initiation and growth. Horticultural Reviews 14: 89-98.
17. El-Said, M. A. A., and Mahdy, A. Y. 2016. Response of two wheat cultivars to foliar application with amino acids under low levels of nitrogen fertilization. Middle East Journal of Agriculture Research 5 (4): 462-472.
18. El-Zohiri, S. S. M., and Asfour, Y. M. 2009. Effect of some organic compounds on growth and productivity of some potato cultivars. Annal of Agriculture Science, Moshtohor 47 (3): 403-415.
19. Gardner, F. P., Pearce, R. B., and Mitchel, R. L. 1985. Physiology of Crop Plant. Iowa State University Press. USA. pp. 186-208.
20. Ghasemi, S., Khoshgoftarmanesh, A. H., Afyuni, M., and Hadadzadeh, H. 2013. The effectiveness of foliar applications of synthesized zinc-amino acid chelates in comparison with zinc sulfate to increase yield and grain nutritional quality of wheat. European Journal of Agronomy 45: 68-74.
21. Hunt, R. 1982. Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Enwards Arnold Publlication, London.
22. Jam, E., Ebadie, A., and Parmoon, G. 2015. The role of iron and zinc on tuber yield and yield components of potato. Journal of Crop Ecophysiology 9 (2): 177-190. (in Persian with English abstract).
23. KleinKopf, G. E., Brandt, T. L., and Olsen, N. 2003. Physiology of tuber bulking. In: Proceedings of Idaho Potato Conference. Idaho**,** ID, 23-January. 4 p.
24. Kumar, P., Rawal, S., Kumar, D., Kumar, R., Saini, N., Chand, R., and Sandhu, K. S. 2015. Influence of calcium dose and time of application on tuber yield and processing quality of potato (*Solanum tuberosum*). Annals of Agricultural Research 36: 28-37.
25. Kleinhenz, M. D., and Palta, J. P. 2002. Root zone calcium modulates the response of potato plants to heat stress. Physiologia Plantarum 115: 111-118.
26. Kolasa, K. 1993. The potato and human nutrition. American Potato Journal 70 (5): 375-384.
27. Lafta, A. M., and Lorenzen, J. H. 1995. Effect of high temperature on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. Plant Physiology 109: 637-643.
28. Levy, D., and Veilleux, R. E. 2007. Adaptation of potato to high temperatures and salinity-a review. American Journal of Potato Research 84 (6): 486-506.
29. Lonnerdal, B. 2000. Dietary factors influencing zinc absorption. Journal of Plant Nutrition 130: 1378-1383.
30. Lynch, D. R., and Tai, G. C. 1989. Yield and yield component response of eight potato to water stress. Crop Science 29: 1207-1211.
31. Malakouti, M. J., Shahabi, A. S., and Bazargan, K. 2016. Potassium in Agriculture: The role of potassium in the production of healthy agricultural. Moballeghan. Tehran. (in Persian).
32. Manal, F. M., Thalooth, A. T., Essa, R. E. Y., and Mirvat, E. G. 2018. The stimulatory effects of tryptophan and yeast on yield and nutrient status of wheat plants (*Triticum aestivum* L.) grown in newly reclaimed soil. Middle East Journal of Agriculture Research 7 (1): 27-33.
33. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
34. Mompie, E. I. J., Martín, R. M., Guevara, D. M., and Hernandez, Y. D. 2016. Classic growth analysis in three potato (*Solanum tuberosum* L.) varities. Cultivos Tropicales 37 (2): 79-87.
35. Mousapour Gorgh, A., and Hassanabadi, H. 2012. Analysis of growth and variation in trends of potato cv. Agria in different planting date. Seed and Plant Production Journal 28-2 (2): 187-208. (in Persian with English abstract).
36. Mousavi, S. R., Galavi, M., and Ahmadvand, G. 2007. Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.). Asian Journal of Plant Sciences 6: 1256-1260.
37. Omran, M. S., Taysee, M., El-Shinnawi, M. M., and El-Sayed, M. M. 1991. Effect of macro– and micro-nutrients application on yield and nutrients content of potatoes. Egyptian Journal of Soil Science 31 (1): 27-42.
38. Parvizi, Kh., Souri, J., and Mahmoodi, R. 2011. Evaluation of cultivation date effect on yield and amount of tuber disorders of potato cultivars in Hamadan province. Journal of Horticultural Science 25 (1): 82-93. (in Persian with English abstract).
39. Parrvizi, Kh., and Ghadami-firoozm Abadi, A. 2015. The effect of water deficit imposing methods on quantitative and qualitative traits of new potato cultivar. Iranian Journal of Field Crops Research 13 (3): 637-650. (in Persian

with English abstract).
40. Petrozza, A., Summerer, S., Di Tommaso, G., Di Tommaso, D., and Piaggesi, A. 2013. Evaluation of the effect of Radifarmw treatment on the morpho-physiological characteristics of root systems via image analysis. Acta Horticulturae 1009: 149-153.
41. Rafie, M. R., Khoshgoftarmanesh, A. M., Shariatmadari, H., Darabi, A., and Dalir, N. 2017. Influence of foliar-applied zinc in the form of mineral and complexed with amino acids on yield and nutritional quality of onion under field conditions. Scientia Horticulturae 216: 160-168.
42. Rizk, F. A., Shaheen, A. M., Singer, S. M., and Sawan, O. A. 2013. The Productivity of potato plants affected by urea fertilizer as foliar Spraying and humic acid added with irrigation water. Middle East Journal of Agriculture Research 2 (2): 76-83.
43. Rykaczewska, K. 2013. The impact of high temperature during growing season on potato cultivars with different response to environmental stresses. American Journal of Plant Sciences 4: 2386-2393.
44. Rowe, R. C. 1993. Potato health management. ASP Press, USA.
45. Sarhan, T. Z. 2011. Effect of humic acid and seaweed extracts on growth and yield of potato plant (*Solomun tubersum* L.). Desirce cv. Mesopotamia Journal of Agriculture 39 (2): 19-27.
46. Shaheen, A. M., Ragab, M. E., Rizk, A., Mahmoud, S. H., Soliman, M. M., and Omar, N. M. 2019. Effect of some active stimulants on plant growth, tubers yield and nutritional values of potato plants grown in newly reclaimed soil. The Journal of Animal and Plant Sciences 29 (1): 215-225.
47. Tekalign, T., and Hammes, P. S. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth. Growth analysis, tuber yield and quality. Scientiae Horticulture 105: 29-44.
48. Van Dam, J., Kooman, P. L., and Strik, P. C. 2008. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tubers in potato (*Solanum tuberosum* L.). Potato Research 39 (1): 51-62.
49. Villordon, A., Clark, C., Ferrin, D., and Labonte, G. 2009. Using degree days, agrometeorological variable, linear regression, and data minig methods to help improve prediction of sweet potato harvested date in Louisiana. HortTechnology 19 (1): 133-144.
50. Waglay, A., Karboune, S., and Alli, I. 2014. Potato protein isolates: recovery and characterization of their properties. Food Chemistery 142: 373-382.
51. Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A., and Brown, P. H. 2017. Biostimulants in plant science: A global perspective. Frontiers in Plant Science 7(2049): 1-32.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 4, Winter. 2022, p. 359-375

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۹، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص. ۳۷۵-۳۵۹

Evaluation of Plant Growth Biostimulants on Growth Indices, Yield and Yield Components of Potato Cultivars

M. R. Rafie[1*]

Received: 09-01-2021
Accepted: 13-11-2021

Introduction

Potato plays an important role in global food security and it growth and tuber yield are influenced by many biotic and abiotic stresses, such as drought and low or high temperatures. Potato in Khuzestan province is facing unfavorable weather conditions, especially high temperature. Humic acid and amino acid, as well-known biostimulants, can directly or indirectly influence on plant growth and yield and significantly mitigates the injuries caused by abiotic stresses. In some studies, the use of humic acid has been reported increase root length, improve nutrient uptake, and increase chlorophyll synthesis. Amino acids in potato plant increase natural resistance to stresses. It seems that biostimulants and some nutrition elements can be applied as a strategy to reduce the negative effects of high temperatures. Therefore, this study was conducted to evaluate the effect of plant growth biostimulants on growth indices, yield and yield components of potato cultivars in Khuzestan region.

Materials and Methods

This research was conducted in two studies. First study was carried out as a factorial experiment in a randomized complete block design (RCBD) with two factors including 16 treatments in three replications at Behbahan Agricultural Research Station in 2019-2020. The first factor was application of plant growth biostimulants at eight levels: control (application of chemical fertilizers according to soil test), humic acid, free amino acid (L), amino acid-Zn, amino acid-K, amino acid-Ca, amino acid-K-Ca and application of all studied biostimulants (except free amino acid). The second factor consisted of two potato cultivars: 'Ottawa and Sante'. In the second study, growth analysis was done in a split plot factorial based on RCBD with three replications. Main plot consisted of five sampling periods with 15 days intervals. Sub plot consisted of combination of eight plants growth biostimulants and two cultivars of potato as factorial. Tubers were planted at mid January. One week before harvesting haulms were defoliated and tubers were harvested at mid May. Humic acid was used as fertigation at 10 $kg.ha^{-1}$ in the early stages of growth. Foliar application of amino acid, amino acid-Zn was done at two stages, tuber initiation and the beginning of tuber bulking. Foliar application of amino acid-K, amino acid-Ca was done at two stages, the beginning and middle of tuber bulking. Amino acid and amino acid-nutritional element were done at a concentration of 0.5 %. Varince analysis were done by MSTATC statistical software and meanes were compared using Duncan’s multiple test range at the 5% level.

Results and Discussion

The results showed that in two cultivars, application of all studied biostimulants (except free amino acid) significantly increased tuber yield compared with control. In Sante cultivar, the highest yield was dedicated in the treatment of combined, and the yield of this treatment was significantly higher than the yield of alone application of these substances. In Ottawa cultivar, the highest yield was achieved by application of combined biostimulants, but the differences of tuber yield among this treatment and treatments of amino acid-K, amino acid-Ca and amino acid-K-Ca and humic acid were not significant. The results of growth analysis showed, in the most sampling periods, the highest tuber and crop growth rate were recorded in the combined treatment. Therefore the highest tuber yield was observed in this treatment. In the first and second sampling periods, application of humic acid or amino acid-Zn were more effective than other treatments. But, in the third and fourth sampling periods, treatments of amino acid-K, amino acid-Ca were more effective in comparision to alone

1- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Khouzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center AREEO, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: rafie1670@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2021.68096.1008

of these substances. In different sampling periods, tuber and crop growth rate in Ottawa cultivar was significantly higher than Sante cultivar.

Conclusion

According to results**,** in Sante cultivar, the combined treatment of plant growth biostimulants produced the highest yield in comparision to any individuals of these substances. Therefore, use of humic acid as fertigation in the early stages of growth and foliar application of amino acid- Zn at two stages tuber initiation and the beginning of tuber growth and amino acid-K-Ca at two stages the beginning and middle of tuber growth, are recommended. In Ottawa cultivar, the differences of tuber yield among treatment of combined application of growth biostimulants, amino acid-K, amino acid-Ca and amino acid-K-Ca and humic acid were not significant. Therefore, based on the finding of the present study, it could be concluded that treatments of amino acid-K, amino acid-Ca or humic acid may be an effective growth biostimulants for improving yield of Ottawa cultivar.

Keywords: Amini acid, Crop growth rate, Growth analysis, Humic acid**,** Relative growth rate